



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10258799 A**(43) Date of publication of application: **29 . 09 . 98**

(51) Int. Cl. **B64G 1/10**
H04B 7/185

(21) Application number: **09064632**(71) Applicant: **FUJITSU LTD**(22) Date of filing: **18 . 03 . 97**(72) Inventor: **YAMASHITA TOMOYOSHI****(54) SUN SYNCHRONOUS ORBIT SATELLITE SYSTEM**

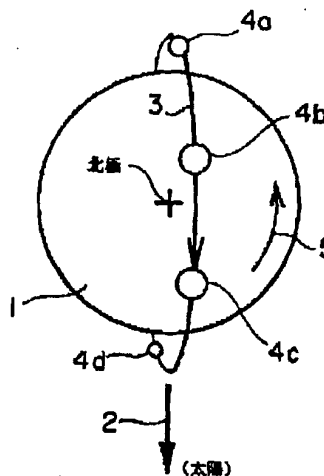
communications are provided over the world even if the number of satellites is small.

(57) Abstract:

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

PROBLEM TO BE SOLVED: To cover the entire earth by a small number of satellites regarding a sun synchronous orbit satellite system having a plurality of satellites on a sun synchronous orbit and used for satellite communications.

SOLUTION: A plurality of satellites 4a to 4d are disposed at specified peripheral direction intervals on an orbit 3 where a locus surface maintains a specified angle against a straight line 2 for connecting the earth 1 and the sun. For securing continuous communications in one point on the earth 1 directly below the orbit 3, it is necessary to arrange a sufficient number of satellites on the orbit 3. The specified peripheral direction intervals are decided according to this satellite number. Since the earth 1 is self-rotated in the direction of an arrow 5 and the orbit 3 is a sun synchronous locus, the one point does not always stay directly below the orbit 3, but communication services are provided for about two and half hours even at a satellite altitude of 1400k. If a time zone for receiving the services is matched with a time zone having dense communication traffic, satellite



(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-258799

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月29日

(51) Int.Cl.⁶

B 6 4 G 1/10

H 0 4 B 7/185

識別記号

F I

B 6 4 G 1/10

H 0 4 B 7/185

(21) 出願番号

特願平9-64632

(22) 出願日

平成9年(1997) 3月18日

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 7 頁)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72) 発明者 山下 与慶

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

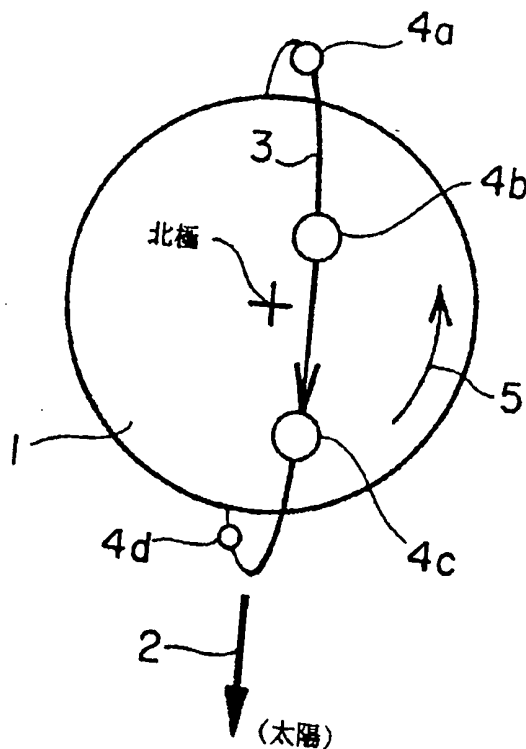
(74) 代理人 弁理士 服部 毅巖

(54) 【発明の名称】 太陽同期軌道衛星システム

(57) 【要約】

【課題】 複数の衛星が太陽同期軌道上に配置され、衛星通信に使用される太陽同期軌道衛星システムに関し、少ない衛星で地球全体をカバーすることを課題とする。

【解決手段】 複数の衛星 4 a ~ 4 d が、軌道面が地球 1 と太陽とを結ぶ直線 2 に対して所定の一定角度を保持する軌道 3 上に、所定の周方向間隔で配置される。軌道 3 の真下の地球 1 上の 1 地点において継続した通信を確保するには、軌道 3 に、十分な数の衛星が配置されている必要がある。この衛星数に応じて上記の所定の周方向間隔が決定される。地球 1 は矢印 5 方向に自転しており、軌道 3 は太陽同期軌道であるため、上記の 1 地点は軌道 3 の真下に常時留まれないが、衛星高度 1 4 0 0 k m の場合で約 2 時間半の間は通信サービスを受けることが可能である。このサービスを受けられる時間帯を通信トラフィックの密度の高い時間帯に合わせれば、少ない数の衛星でも、衛星通信が世界中で可能となる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 太陽同期軌道を使用した太陽同期軌道衛星システムにおいて、軌道面が地球と太陽とを結ぶ直線に対して所定の一定角度を保持する軌道上に所定の周方向間隔で配置された複数の衛星を有することを特徴とする太陽同期軌道衛星システム。

【請求項2】 太陽同期軌道を使用した太陽同期軌道衛星システムにおいて、各軌道面が地球と太陽とを結ぶ直線に対して、互いに異なる一定角度を保持する複数の軌道の上に、所定の周方向間隔でそれぞれ配置された複数の衛星を有することを特徴とする太陽同期軌道衛星システム。

【請求項3】 太陽同期軌道を使用した太陽同期軌道衛星システムにおいて、軌道面が地球と太陽とを結ぶ直線に対して第1の一定角度を保持する第1の軌道の上に所定の周方向間隔で配置された第1の複数の衛星と、前記第1の複数の衛星が前記第1の軌道の上に配置され、運用された後に、軌道面が地球と太陽とを結ぶ直線に対して、前記第1の一定角度とは異なる第2の一定角度を保持する第2の軌道の上に前記所定の周方向間隔で配置された第2の複数の衛星と、を有することを特徴とする太陽同期軌道衛星システム。

【請求項4】 太陽同期軌道を使用した太陽同期軌道衛星システムにおいて、各軌道面が地球と太陽とを結ぶ直線に対して、互いに異なる一定角度を保持するとともに、各軌道面相互が第1の角度を保持する第1の複数の軌道の上に、第1の周方向間隔でそれぞれ配置された複数の衛星と、各軌道面が地球と太陽とを結ぶ直線に対して、互いに異なる一定角度を保持するとともに、各軌道面相互が前記第1の角度とは異なる第2の角度を保持する第2の複数の軌道の上に、前記第1の周方向間隔とは異なる第2の周方向間隔でそれぞれ配置された複数の衛星と、を有することを特徴とする太陽同期軌道衛星システム。

【請求項5】 前記第1の角度、前記第2の角度、前記第1の周方向間隔、および前記第2の周方向間隔は、衛星利用需要の度合いの一日における時間パターンに応じて設定されることを特徴とする請求項4記載の太陽同期軌道衛星システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、太陽同期軌道衛星システムに関し、特に、複数の衛星が太陽同期軌道の上に配置され、衛星通信に使用される太陽同期軌道衛星システムに関する。

【0002】近年、低軌道に配置された多数の周回衛星を中継装置として利用した衛星通信システムが開発されている。こうした通信システムでは地上局装置の出力が

小さくて済み、地上局装置の小型化が期待できる。こうしたことから地上局を移動無線装置として構成できる可能性を秘めている。

【0003】

【従来の技術】一般に、低軌道としては、大気の影響がある部分を避けるとともに、宇宙放射線の強いバンアレン帯を避けた高度約700～1,400 kmが利用される。こうした低軌道における衛星の周回周期は1時間半程度であり、地上の1地点からからの可視時間は10数分間程度である。したがって、継続した通信を確保するには同一軌道を周回する多数の衛星を必要とする。

【0004】一方、譬え多数の衛星が周回していても、この1軌道によってカバーできる地上のサービス地域は軌道に沿った環状の限定された地域となるので、地球上のすべてをカバーするには多数の軌道を必要とする。

【0005】従来、全世界をなるべく等しい通信品質でカバーできるようにした衛星配置が提案されており、この提案によれば非常に多数の衛星を必要としていた。例えば、イリジウムシステムでは、複数の極軌道を経度方向にほぼ等間隔に並べ、また、それぞれの軌道の上にほぼ等間隔に衛星を配置するようにしている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、衛星自体のコストや打ち上げコストが非常に高いので、なるべく少ない衛星で地球全体をカバーしたいという強い要請がある。

【0007】また、衛星の打ち上げは、費用や所要時間の関係から、一遍に全数の衛星に対して行えるわけではないので、全数の衛星が打ち上げ終わる前の過渡状態においても衛星が有効利用できることが求められている。すなわち、少ない衛星数でも取り敢えず最低限のサービスを提供でき、衛星数が増えるにつれてサービスの高度化が可能な、いわゆる成長性が求められている。

【0008】本発明はこのような点に鑑みてなされたものであり、少ない衛星で地球全体をカバーすることを可能とする太陽同期軌道衛星システムを提供することを目的とする。

【0009】また、全数の衛星が打ち上げ終わる前の過渡状態においても衛星が有効利用できる太陽同期軌道衛星システムを提供することを他の目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明では上記目的を達成するために、図1に示すように、軌道面が地球1と太陽とを結ぶ直線2に対して所定の一定角度を保持する軌道3上に所定の周方向間隔で配置された複数の衛星4a～4dを有することを特徴とする太陽同期軌道衛星システムが提供される。

【0011】以上のような構成において、軌道3は、軌道面が地球1と太陽とを結ぶ直線2に対して所定の一定角度を常時保持する太陽同期軌道であるとともに、地球

1の北極及び南極を通過する極軌道に近い軌道である。この軌道3上に複数の衛星4a～4dが、所定の周方向間隔で配置される。

【0012】軌道3の真下の地球1上の1地点において継続した通信を確保するには、軌道3に、十分な数の衛星が配置されている必要がある。この衛星数に応じて上記の所定の周方向間隔が決定される。

【0013】ところで、地球1は矢印5方向に自転しており、軌道3は太陽同期軌道であるため、上記の1地点は軌道3の真下に常時留まれないが、衛星高度1400kmの場合で約2時間半の間は通信サービスを受けることが可能である。

【0014】したがって、地球1上のそれぞれの地方時の同一時刻を中心とした約2時間半の間は地球1上のどの地域でも通信サービスを受けることができることになる。このサービスを受けられる時間帯を通信トラフィックの密度の高い時間帯に合わせれば、少ない数の衛星でも、衛星通信が世界中で可能となる。勿論、軌道数を増やせば、サービスを受けられる時間帯の幅を増やすことができる。

【0015】通信トラフィックは1日24時間の中で均一ではなく、例えば一般に、日中はトラフィックの密度が高く、夜間は低い。本発明では、こうした1日の中のトラフィック密度に応じて軌道を設定することが可能であり、したがって、均一に軌道配置を行う場合に比べ、所要衛星数を削減できる。

【0016】また、最終的に設定されるべき完全システムの軌道数に至らない過渡状態でも、サービスを受けられる時間帯の幅が狭いだけで、既設の衛星は運用可能である。したがって、全数の衛星が打ち上げ終わる前の過渡状態においても衛星を有効利用でき、成長性あるシステムを構築できる。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を、図面を参照して説明する。まず、本発明の実施の形態の原理構成を、図1を参照して説明する。本発明に係る太陽同期軌道衛星システムの実施の形態は、軌道面が地球1と太陽とを結ぶ直線2に対して所定の一定角度を保持する軌道3上に所定の周方向間隔で配置された複数の衛星4a～4dから構成される。

【0018】以上のような構成において、軌道3は、軌道面が地球1と太陽とを結ぶ直線2に対して所定の一定角度を常時保持する太陽同期軌道であるとともに、地球1の北極及び南極を通過する極軌道に近い軌道である。この軌道3上に複数の衛星4a～4dが、所定の周方向間隔で配置される。

【0019】軌道3の真下の地球1上の1地点において継続した通信を確保するには、軌道3に、十分な数の衛星が配置されている必要がある。この衛星数に応じて上

記の所定の周方向間隔が決定される。

【0020】ところで、地球1は矢印5方向に自転しており、軌道3は太陽同期軌道であるため、上記の1地点は軌道3の真下に常時留まれないが、衛星高度1400kmの場合で約2時間半の間は通信サービスを受けることが可能である。

【0021】したがって、地球1上のそれぞれの地方時の同一時刻を中心とした約2時間半の間は地球1上のどの地域でも通信サービスを受けることができることになる。このサービスを受けられる時間帯を通信トラフィックの密度の高い時間帯に合わせれば、少ない数の衛星でも、衛星通信が世界中で可能となる。勿論、軌道数を増やせば、サービスを受けられる時間帯の幅を増やすことができる。

【0022】通信トラフィックは1日24時間の中で均一ではなく、例えば一般に、日中はトラフィックの密度が高く、夜間は低い。本発明では、こうした1日の中のトラフィック密度に応じて軌道を設定することが可能であり、したがって、均一に軌道配置を行う場合に比べ、所要衛星数を削減できる。

【0023】また、最終的に設定されるべき完全システムの軌道数に至らない過渡状態でも、サービスを受けられる時間帯の幅が狭いだけで、既設の衛星は運用可能である。したがって、全数の衛星が打ち上げ終わる前の過渡状態においても衛星を有効利用でき、成長性あるシステムを構築できる。

【0024】次に、太陽同期軌道について説明する。地球は真球ではなく、極方向半径より赤道方向半径の方が大きくなっている。地球の周囲を回る人工衛星の軌道は、このような地球の扁平形状の影響を受け、軌道面が時間経過に伴い回転する。つまり、衛星が地球の赤道面を通過する点が、時間とともに東方向または西方向へ移動する。この回転方向及び回転速度は軌道傾斜角によって変化する。軌道傾斜角は、衛星軌道面が赤道面に対して示す角度である。

【0025】この衛星軌道面の回転を、東方向に年間360°回転するように設定できれば、軌道面が地球と太陽とを結ぶ直線に対して常に一定角度を有することになる。このような、軌道面が地球と太陽とを結ぶ直線に対して常に一定角度を有する軌道が太陽同期軌道として知られる。言い換えれば、太陽同期軌道の軌道面が地球上の1点を通過する地方時刻は常時一定となる。地方時刻とは、地球上の各地域で太陽の南中時を正午として設定される時刻である。

【0026】衛星軌道が円軌道である場合、軌道面の回転速度Vは次式(1)により表される。

【0027】

【数1】

$$V = -9.97 \times (a_e / a)^{3.5} \times \cos i \quad \dots (1)$$

なお、回転速度 V の単位は度(°)/日であり、東方向を+、西方向を-とする。 a_e は地球赤道半径(6,378 km)、 a は衛星軌道半径、 i は軌道傾斜角である。

【0028】回転速度 V を、地球が太陽の周りを回転す

$$0.9856 = -9.97 \times (6378/a)^{3.5} \times \cos i \quad \dots (2)$$

大気の影響がある部分を避けるとともに、宇宙放射線の強いバンアレン帯を避けた高度約700~1,400 kmに衛星軌道を設けた場合の軌道傾斜角 i は、上記式(2)に基づいて $\pm 9.8 \sim \pm 10.2^\circ$ となる。

【0030】したがって、高度約700~1,400 kmの太陽同期軌道は、北極及び南極を通過する極軌道に近い軌道となる。図1において、極軌道面に近い軌道面3を、地球1と太陽とを結ぶ直線2に対して平行にした場合、全世界の各地において、太陽を真南(北半球)または真北(南半球)に見る正午及び半日後の夜半には、継続的にある値以上の衛星仰角を確保できる。これを、図2を参照して説明する。

【0031】図2は、高度1,400 kmの衛星軌道に 30° 間隔に12個の衛星を配置した場合の衛星仰角特性を示す図である。衛星仰角は、地上において衛星を見たときの水平線から衛星までの角度である。この衛星仰角が良好な通信品質を得るための目安となる。なお、図2では、軌道傾斜角が -10.1° であり、地上局が赤道上にあり、衛星の周回時間が114分である場合を例にしている。

【0032】図中の曲線G1~G17の各々は衛星1つの仰角特性を示しており、曲線G13は、曲線G1に対応する衛星が地球を1周してきて再び示した仰角特性である。同様に、曲線G2と曲線G14、曲線G3と曲線G15、曲線G4と曲線G16、曲線G5と曲線G17は、各同一の衛星による仰角特性となっている。仰角約 10° 以上が通常の通信品質を得るために必要であるので、図2から、日中及び夜半の2時間半程度の間、通信サービスを実施することが可能であることが分かる。

【0033】このようなサービス可能地域は地球の自転とともに西側にずれるが、ずれた先の地域では、その地域の地方時刻が適用される関係から、常時、同一の地方時刻にサービスが実施されることになる。つまり、例えば、正午を中心に約2時間半の通信サービスを設定した場合、1つの太陽同期軌道に配置された12個の衛星によって、全世界のどの地域でも、正午を中心に約2時間半の通信サービスを実施することが可能となる。

【0034】さらに、経度方向に例えば 30° 程度の間隔をあけてもう1つの太陽同期軌道を用意し、同様な衛星配置を行うと、日中及び夜半の約4時間半の間、通信サービスを実施することが可能となる。

【0035】したがって、当初は少ない軌道数でサービスを開始し、順次軌道数を増やしてサービスを行い、時間をかけて成長させ、1日24時間を通して通信サービ

ス速度($360^\circ/365.25\text{日}=0.9856^\circ/\text{日}$)に合わせると、衛星軌道半径 a と軌道傾斜角 i とを変数とする下記の関係式(2)ができる。

【0029】

【数2】

ス断のない全システムを完成させることができる。

【0036】全世界で何時の時点でもほぼ同じ通信条件となる完成された全システムでは、複数の軌道面が等しい軌道面間隔(経度方向の間隔)で並べられ、それぞれの軌道上に衛星が等間隔に配置される。また隣接する軌道上では衛星位置がジグザグ(千鳥状)になるように配置され、これによって、地球上の各地域をなるべく等しい条件でカバーするようにする。ただし、隣接する軌道上で衛星の移動方向が逆方向となる2つの軌道においては、それらの2つの軌道によってカバーされる地球上の各地域で、どうしても通信条件が悪くなるので、2つの軌道面の間隔を少し狭くする。

【0037】図3は、成長が完了し、通信サービス断がなくなった完成システムにおける複数の軌道面の配置の例を示す図である。図3では、5つの軌道面F1~F5が軌道面間隔 θ_1 で順に設けられる。図中の矢印は衛星の移動方向を示している。ここで、互いに隣接する軌道面F1と軌道面F5とは衛星の移動方向が反対となる。そのため、軌道面F1と軌道面F5との間の軌道面間隔 θ_2 を、軌道面間隔 θ_1 よりも小さな値に設定する。

【0038】図4は、軌道面数及び1軌道上の衛星数を各種設定した場合における軌道面間隔、衛星間隔、地上からの衛星仰角を示す図である。図中、欄C1は軌道面数および1軌道上の衛星数を示し、欄C2は衛星の総数を示し、欄C3は、隣接する軌道面において衛星が同じ方向へ移動している場合の当該軌道面間隔を示し、欄C4は、隣接する軌道面において衛星が反対方向へ移動している場合の当該軌道面間隔を示し、欄C5は軌道上の衛星間隔を示し、欄C6は赤道上に位置する地域からの最低衛星仰角を示し、欄C7は緯度 35° に位置する地域(例えば日本)からの最低衛星仰角を示す。

【0039】なお、図4に示す衛星配置では、衛星高度を1400 kmに設定している。また、前述したように、ここで設定される軌道は完全な極軌道ではないために、高緯度地域において衛星配置が疎になる時間帯が生じることを避けられない。そこで、この時間帯が北半球において早朝となるように軌道傾斜角を負の所定値($-10.1, 4^\circ$)に設定している。この場合、衛星は昼間に北から南へ移動し、夜間に南から北へ移動する。

【0040】また、衛星仰角特性が悪くなる地域として、まず軌道面の間隔が広がる赤道近傍が考えられるが、このほかに上述のような時間帯の高緯度地域についても考慮する必要がある。本実施の形態では、赤道近傍での最悪衛星仰角と緯度 50° 地域の最悪衛星仰角が等

しくなるように衛星配置を決める。

【0041】ところで、成長が完了し、通信サービス断がなくなった完成システムにおける複数の軌道面の配置には、図3で例示する配置方法の他に、次のように行う方法もある。すなわち、衛星利用の需要には1日の中でほぼ一定したパターンがある。太陽同期軌道の場合、世界中のどの地域でも、毎日ほぼ同じ地方時刻に同じ軌道面が真上に来る。したがって、トラフィック需要に応じて軌道面の配置密度や衛星の配置密度を設定することによって、衛星総数の少ない効率のよい全システムを構築できる。軌道面の配置密度は軌道面の経度方向の間隔によって、また衛星の配置密度は各軌道上の衛星間隔によって調整することができる。これを、図5を参照して説明する。

【0042】図5は、トラフィック需要に応じて配置密度が設定された複数の軌道面の配置を示す図である。すなわち、トラフィック需要の高い日中用に、配置密度の高いタイプの軌道面（例えばF11～F13）を用意して、良好な通信サービスを確保する。そして、トラフィック需要の低い早朝や夕方用に、配置密度の低いタイプの軌道面（例えばF14～F17）を用意して、システム全体の衛星総数を少なくする。

【0043】図4に示す軌道配置及び衛星配置に基づいて具体的に説明すると、トラフィック需要の高い日中用に、例えば、「軌道面数9／衛星数14」タイプの配置密度によって軌道面を3つ（F11～F13）用意する。これにより、4～5時間の間は衛星仰角 30° 以上を確保でき、通信品質良好な通信サービスを提供できる。そして、トラフィック需要の低い早朝や夕方用に、例えば、「軌道面数5／衛星数8」タイプの配置密度によって軌道面を4つ（F14～F17）用意する。これにより、衛星仰角をほぼ 10° 以上確保でき、システム全体の衛星総数を126個（図4の「軌道面数9／衛星数14」タイプ参照）から74個（ $=14 \times 3 + 8 \times 4$ ）に減少させることができる。なお、衛星仰角 10° 付近では、降雨による通信断の機会が少し増えるなどの通信品質の低下があるが、トラフィック需要の少ない時間帯であるので、通信品質の低下に伴うデータ再送等の増加があってもあまり問題とはならない。なおまた、図中、軌道面F16と軌道面F17との間は、衛星の移動方向が反対となるので、狭くする。また、軌道面F11と軌道面F17との間、及び軌道面F13と軌道面F14との間では、両軌道上に配置される衛星数が互いに異なる（14個と8個）ので、両軌道の間での衛星配置が

ジグザグ（千鳥状）にならない。そのため両軌道面間を狭くしている。

【0044】上述した実施の形態では、衛星を通信に利用しているが、本発明は、通信に利用された衛星にだけ適用されるものではなく、地球観測衛星、気象衛星、測地衛星、放送衛星、航行衛星等の衛星に対しても適用可能である。

【0045】

【発明の効果】以上説明したように本発明では、複数の衛星が、太陽同期軌道上に所定の周方向間隔で配置される。通信トラフィックは1日24時間の中で均一ではなく、例えば一般に、日中はトラフィックの密度が高く、夜間は低い。こうした1日の中のトラフィック密度に応じて軌道を設定すれば、均一に軌道配置を行う場合に比べ、所要衛星数を削減できる。すなわち、通信サービスにおいて、少ない衛星で地球全体をカバーすることが可能となる。

【0046】また、こうした軌道を順次設けていき、既設の衛星については運用を開始する。最終的に設定されるべき完全システムの軌道数に至らない過渡状態でも、サービスを受けられる時間帯の幅が狭いだけで、既設の衛星は運用可能である。したがって、全数の衛星が打ち上げ終わる前の過渡状態においても衛星を有効利用でき、成長性あるシステムを構築できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理説明図である。

【図2】高度1,400kmの衛星軌道に 30° 間隔に12個の衛星を配置した場合の衛星仰角特性を示す図である。

【図3】成長が完了し、通信サービス断がなくなった完成システムにおける複数の軌道面の配置の例を示す図である。

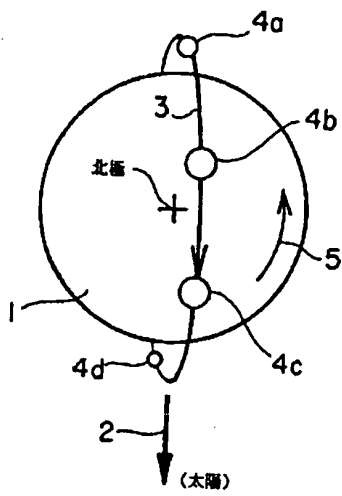
【図4】軌道面数及び1軌道上の衛星数を各種設定した場合における軌道面間隔、衛星間隔、地上からの衛星仰角を示す図である。

【図5】トラフィック需要に応じて配置密度が設定された複数の軌道面の配置を示す図である。

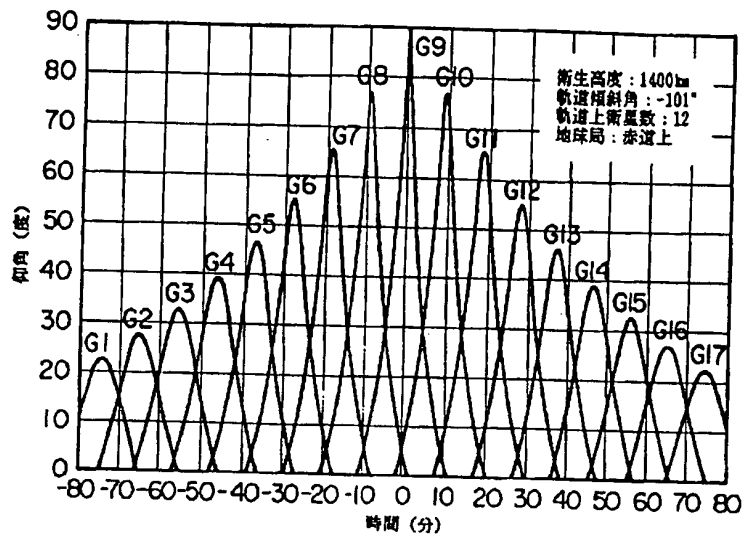
【符号の説明】

- 1 地球
- 2 地球と太陽とを結ぶ直線
- 3 軌道
- 4 a～4 d 衛星
- 5 矢印（自転方向）

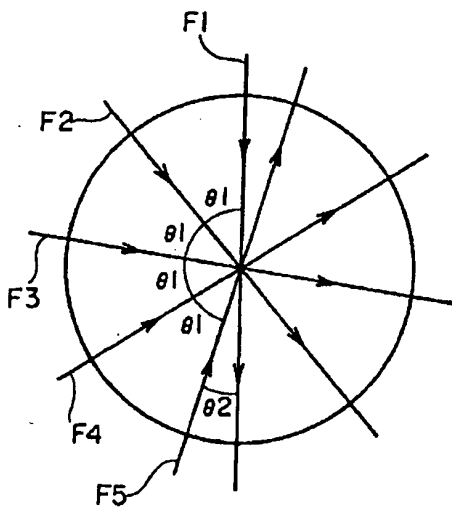
【圖1】



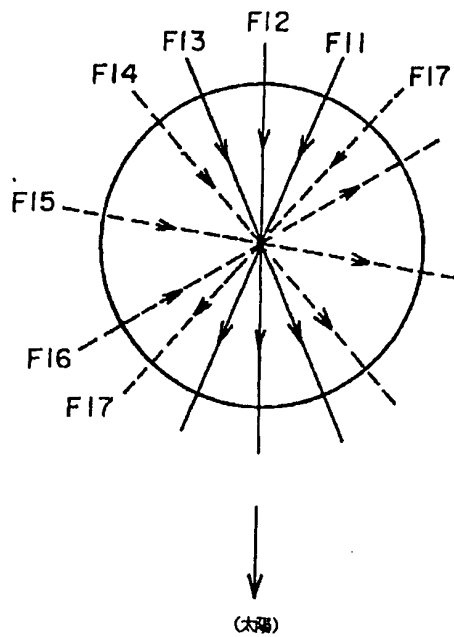
【圖2】



【圖3】



【圖5】



Partial Translation of Reference 2

Jpn. Pat. Appln. KOKAI Publication No. 10-258799

Filing No.: 64632/97

Filing Date: March 18, 1997

Applicant: Fujitsu Ltd.

Priority: Not Claimed

KOKAI Date: September 29, 1998

Request for Examination: Not filed

Int.Cl.: B64G 1/10

H04B 7/185

A. [On page 4, from left column, line 49 to right column, line 7]

Therefore, at the beginning the service is started with a small number of orbits, and the service is provided with the orbits increased gradually so that it grows with a period of time. Thereby, it is possible to complete the whole system which has no communication service intermission all day.

B. [On page 5, right column, lines 18-24]

Further, such orbits are successively provided, while use of existing satellites is started. Even in a transitional state in which the number of orbits of the system have not yet reached the number of orbits to be provided in a complete system, the existing satellites can be used, although the period of time in which the service can be provided is limited. Therefore, the satellites can be effectively used even in the transitional state before all the satellites are launched, and it is possible to form a growing system.